

Erdészeti adatok feldolgozása modern informatikai eszközökkel

Pödör Zoltán

Nyugat-magyarországi Egyetem, Simonyi Károly Műszaki, Faanyagtudományi és
Művészeti Kar, Informatikai és Gazdasági Intézet

Az erdészet-faipar területén számtalan adatgyűjtő tevékenység folyik, mint például az Erdészeti Fénycsapda Hálózat fogási adatai (50 év), Erdő egészségi monitoring hálózat adatai (30 év), illetve különböző növekedési adatok (évyűrű és dendrométeres mérések). A vizsgált terület kérdései szorosan összefüggnek a ma rendkívül aktuális klímakutatással, így nagyon időszerűek és ökológiai, gazdasági értelemben is fontosak.

Bemutatjuk, hogy a fák növekedését évyűrű adatokkal reprezentáló adatsorok és az alapvető környezeti paraméterek közötti kapcsolatkeresésben, annak előkészítésében milyen technikákat alkalmazhatunk. Ez a növekedési adatok tekintetében magában foglalja az egyedi növekedési adatsorok csoportosítását klaszterezéssel, a diszkrét adatsorokra megfelelő növekedési görbék illesztését. A klimatikus paraméterek esetében pedig egyrészt különböző aszályossági indexek, másrészt különböző szélességű, időben eltolt időszakai adatok képzését az általunk fejlesztett CReMIT módszerrel.

Végül az így kapott klimatikus jellemzők, mint független és a növekedés, mint függő paraméterek között történik kapcsolatkeresés, illetve erdészeti partnerek oldaláról a kinyert összefüggések értelmezése, értékelése.

Kulcsszavak: növekedési görbék, klaszterezés, klímahatás, CReMIT

Forestry data processing by using modern IT technologies

Countless data collecting activities are in progress in the field of forestry and the wood industry, like Hungarian Forest Light Trap Network (50 years), Forest healthy monitoring network (30 years), various tree growth data. The issues raised within the field are closely related to climate research and are therefore highly topical and important also in terms of ecology and economics.

We present, that what kind of IT techniques can be use to the data preparation and relationships in searching for tree growth data and basic environmental parameters. This includes the growth function fitting on basic tree growth data, and the clustering of unique tree growth time series. On the one hand for climatic variables it means to generate different forestry aridity indices, and on the other hand the analysis of the effects of time shifted and delayed periods of varied lengths and the expansion of such analyses based on the CReMIT method.

Finally, it is possible to examine the relationships between these climatic variables as independent, and the growth data (dependent variables). From the side of forestry partners can be achieve the evaluation and interpretation of the results.

Keywords: growth functions, clustering, climate effects, CReMIT

1. BEVEZETÉS

A Nyugat-magyarországi Egyetemen a TÁMOP-4.2.2.C „Földrendszer” projekt keretein belül kialakításra került egy adattárház, mely többek között erdészeti jellegű adatok hatékony tárolását, elérését teszi lehetővé. Ez megfelelő alapot teremt az adatok hatékony informatika eszközökkel történő feldolgozásához, értékeléséhez.

Manapság rendkívül időszerű és fontos kérdések a feltételezett klímaváltozás hatásait figyelembe vevő vizsgálatok. Az erdészet különösen érintett terület, hiszen az itt mért paraméterek, jellemzők általában mind klímfüggőek. Így annak vizsgálata, hogy ezek a paraméterek hogyan függnek a környezeti jellemzőktől, mit várhatunk ezekkel kapcsolatban a jövőben, rendkívül fontos feladat. Számtalan kutatás foglalkozik a fák növekedése és a klimatikus jellemzők közötti kapcsolatok vizsgálatával keresve azokat a környezeti paramétereket, amik igazolható, szignifikáns hatást mutatnak (Dittmar et al, 2003; Feliksik – Wilczyński, 2009; Lebourgeois et al, 2005). Megállapítható, hogy a kapott eredmények általában terület, fafaj függőek, azonban több általános érvényű megállapítást is tesznek.

Az elkövetkezendő időszak csapadék és hőmérséklet viszonyaira vonatkozóan a klímaszenáriók alapján vannak előrejelzések. Magyarország vonatkozásában például Pieczka és mtsai (2011) a PRECIS regionális klímamodell eredményeit mutatják be három különböző szenárió vonatkozásában a 2071-2090-es időszakra vonatkoztatva az 1961-90-es bázisidőszakhoz képest. Mindhárom forgatókönyv 95%-os szignifikancia szinten melegebbé válik a kárpát-medencei területre különösen a nyári hőmérsékletek vonatkozásában. Emellett a csapadék- és hőmérséklet eloszlások átrendeződése is várható: gyakoribbak lesznek a nyári aszályok, ugyanakkor a téli csapadék mennyiségének növekedés várható.

Tanulmányunk célja a fák növekedése és az alapvető klimatikus jellemzők (havi átlaghőmérséklet és csapadékösszeg) közötti kapcsolatok vizsgálata Zala megye területén. Ehhez a hagyományos statisztikai eszközök mellett modern, adatbányászati eszközöket is felhasználunk. A növekedési adatsorokat függvényillesztéssel tesszük folytonossá, illetve simítjuk. Klaszterezéssel csoportosítjuk az egyedeket a növekedési erélyük alapján. Az így kapott csoportok felhasználásával végzünk összefüggés vizsgálatokat többek között az általunk fejlesztett CReMIT (Pödör et al., 2014) módszert is alkalmazva.

Jelen tanulmány alapvető célja az alkalmazott elemzési megközelítések és módszerek bemutatása. Nem célunk a kapott eredmények, összefüggések erdészeti jellegű értékelése és értelmezése.

2. FELHASZNÁLT ADATOK

2.1. NÖVEKEDÉSI ADATOK

A növekedési adatok Zala megye területéről származó évgyűrű adatsorok két fafaj és összesen 130 egyed vonatkozásában. A vizsgált egyedek elhelyezkedése a megfelelő GPS koordinátákkal definiált, ami alapján egyértelműen elvégezhető volt a meteorológiai adatokkal történő összerendelés. Az egyes egyedekre rendelkezésre álló adatsorok hossza meglehetősen vegyes. A 30 évnél rövidebb adatsorokat kizártuk a további vizsgálatokból, így végül 103 egyed maradt. Ezek évgyűrű adatsorainak hossza 31 és 130 év között

változott. Ugyanakkor fontos megjegyezni, hogy ezek életkor alapján történő rendelkezésre állása is elég eltérő. Van olyan egyed, aminek adatai 0-120 éves kor, de van olyan is, aminek 30-70 év között áll rendelkezésre.

Az alapadatok az évenkénti, nyers évgűrű adatok, amelyek azonban nincsenek megtisztítva az életkor hatásától és zajosak. Ennek kezelésére az erdészetben gyakran alkalmazott Hugershoff függvényt (Bosela et al, 2011) használtuk fel.

2.2. KLIMATIKUS JELLEMZŐK

A felhasznált alapadatokat a 10 km x 10 km-es felbontású, 1961-2010 időszakot lefedő havi átlaghőmérsékletet és havi átlagcsapadékot tartalmazó OMSZ meteorológiai adatsorok képezték. A havi alapadatok mellett éves szinten erdészeti aszályossági indexet (FAI, Führer et al., 2011), a módosított Pálfai-féle aszályindexet (PaDi, Pálfai és Herceg, 2011), illetve a következő származtatott paramétereket képeztük:

- Tyear: éves középhőmérséklet
- Tmax: legmagasabb havi középhőmérséklet
- Tmin: legalacsonyabb havi középhőmérséklet
- Tcont: Tmax-Tmin (kontinentalitást becsülheti)
- Tveg: vegetációs időszak (ápr-okt) havi középhőmérsékleteinek az átlaga
- Twin: téli hónapok átlaga
- Tspr: tavaszi hónapok átlaga
- Tsum: nyári hónapok átlaga
- Taut: őszi hónapok átlaga
- Tffree: fagyponti és fagypont feletti középhőmérsékletű hónapok száma – a fagymentes periódus hosszát becsülheti
- Tpos: a nulla feletti középhőmérsékletű hónapok középhőmérsékleteinek összege, pozitív hőösszeget becsülhet
- Tneg: a nulla alatti középhőmérsékletű hónapok középhőmérsékleteinek összege, negatív hőösszeget becsülhet
- T5: az 5 °C feletti középhőmérsékletű hónapok középhőmérsékleteinek összege – 5 °C hőösszeget becsülhet
- T10: a 10 °C feletti középhőmérsékletű hónapok középhőmérsékleteinek összege – 10 °C hőösszeget becsülhet
- T15: a 15 °C feletti középhőmérsékletű hónapok középhőmérsékleteinek összege – 15 °C hőösszeget becsülhet
- Pyear: éves csapadékösszeg
- Pmax: legnagyobb havi csapadék
- Pmin: legkisebb havi csapadék
- Pveg: a vegetációs periódus csapadékösszege
- Pacc: tárolási időszak csapadékösszege (az 5 °C-t el nem érő középhőmérsékletű hónapok csapadékösszegei)
- Pwin: téli hónapok csapadékösszege
- Pspr: tavaszi hónapok csapadékösszege

- Psum: nyári hónapok csapadékösszege
- Paut: őszi hónapok csapadékösszege
- Pneg: negatív középhőmérsékletű hónapok csapadékösszege
- Ppos: pozitív középhőmérsékletű hónapok csapadékösszege
- P5: az 5 °C-t elérő középhőmérsékletű hónapok csapadékösszegei
- P10: a 10 °C-t elérő középhőmérsékletű hónapok csapadékösszegei
- P15 a 15 °C-t elérő középhőmérsékletű hónapok csapadékösszegei

A vizsgált faegyedekhez mindig a földrajzilag legközelebbi meteorológiai adatsort rendeltük hozzá.

3. ALKALMAZOTT MÓDSZEREK

Az elvégzett kutatásokban alkalmazott különböző módszerek alapvetően három csoportba oszthatók: (1) a növekedési adatok és a klimatikus jellemzők kezelésére, (2) előkészítésére, illetve (3) az összefüggések keresésére alkalmazott módszerekre. A kutatás során az elemzéseket a nyílt forráskódú R programmal végeztük el.

3.1. NÖVEKEDÉSI ADATOK KÉPZÉSE

A nyers évgűrű adatokra egyedenként Hughschoff függvényt (Bosela et al, 2011; Melvin, 2004) illesztettünk, melynek általános alakja:

$$y(t) = a \cdot t^b \cdot e^{(-c \cdot t)} + d$$

A függvény alkalmazásával a nyers évgűrű adatsorból kiszűrhető az életkor hatása és ilyen értelemben egy simított adatsort kapunk. Az illesztést követően minden vizsgált egyedre rendelkezésre álltak az illesztés során előállított függvény paraméterek (a, b, c és d). Ezeket a paramétereket használtuk fel a faegyedek jellemzésére a klaszterezéssel történő csoportosításhoz. Sajnos más megközelítések, mint pl. a LIT módszer (Bošea et al., 2011) az adatsorok nem homogén rendelkezésre állása miatt nem jöhettek szóba. Az alapadatok klaszterezése kapcsán az ideális klaszterszám definiálására a könyökpont módszert (Han-Camber, 2006) alkalmaztuk. Ennek ismeretében mind a hierarchikus, mind a k-means particionáló klaszterezéseket (Han-Camber, 2006) lefuttattuk az adatsorokra. Azt tapasztaltuk, hogy a két módszertan között gyakorlatilag nincs komoly eltérés, ezért a továbbiakban bemutatásra kerülő eredmények a hierarchikus klaszterezésen alapulnak. Utóbbi döntésnél azt is figyelembe vettük, hogy több erdészeti cikkben is ezt a megközelítést alkalmazzák az adatok klaszterezésén alapuló csoportosítására (Bošea et al., 2011; Piovesan et al., 2005; Feliksik és Wilczyński, 2009).

A kapott klaszterekbe (2-2 csoport mindegyik fafajra) tartozó egyedek összes, egyesített évgűrű adatsoraira csoportonként egy-egy mestergörbéként definiált újabb Hughschoff függvényt illesztettünk, ami az adott csoport elméleti növekedését jellemzi. Ezt követően a kapott mestergörbéhez tartozó illesztett adatsorhoz viszonyítva a csoportba tartozó egyedek eredeti nyers növekedési adatsorait, százalékos arányban kaptuk az úgynevezett növekedési indexet (Csókáné, 2002) minden egyes egyedre. A kapott arányszámok azt fejezik ki, hogy az elméletileg várt növekedéshez képest mekkora volt a

tényleges növekedés (100% alatti érték esetében elmaradt a várttól, 100% feletti eredmény esetében a tényleges növekedés meghaladta a vártat). A százalékos arányokat az egyes egyedek éves növekedésének jellemzésére használtuk fel az elemzésekben. A megközelítéstől azt reméltük, hogy a kialakított csoportokba tartozó egyedek hasonló kapcsolatokat mutatnak adott környezeti jellemzőkkel.

3.2. KÖRNYEZETI PARAMÉTEREK

Az OMSZ-tól származó havi alapadatokból egyrészt képeztük a 2.2-ben már bemutatott index adatokat éves szinten. Figyelembe véve, hogy a fák növekedése kapcsán az időben eltolt, késleltetett hatások és a különböző hosszúságú időszakok hatása fontos lehet, a havi meteorológiai adatokra alkalmaztuk a CReMIT módszert (Pödör et al., 2014). Ennek segítségével a felhasználó által definiált maximális szélességű és időbeni eltolású összes lehetséges időablakra képeztük a havi adatok alapján az átlaghőmérséklet és csapadékösszeg adatokat. Ez a gyakorlatban azt jelenti, hogy a szimpla havi adatok mellett előállítunk különböző szélességű és időbeni eltolású ablakokat (időszaki adatokat) is, mind a csapadék, mind a hőmérséklet vonatkozásában. Ezeket bevonva az alap havi adatok mellett az összefüggés vizsgálatokba tovább bővíthető a lehetséges összefüggések körének vizsgálata. A módszert már több esetben is alkalmaztuk hasonló jellegű vizsgálatokban (Edelényi et al., 2011; Manninger et al., 2011b; Führer et al., 2012) a klimatikus jellemzők vizsgálati lehetőségeinek kiterjesztésére.

Az eljárás előnye annak szisztematikus mivoltában rejlik. Speciális időszakokat több kutatásban is alkalmaznak, azonban ezek száma erősen korlátozott és kijelölésük empirikus úton történik. Carrer és Urbinatti (2001) felhasználták a február-március-áprilisi és május-június-júliusi időszakok átlaghőmérsékletét és csapadékösszegét. Az osztrák Alpokban végzett elemzéseik során Pichler és Oberhuber (2007) háromhavi időszaki változókat alkalmaztak a havi átlaghőmérsékletek átlagolásával és a havi csapadékmennyiségek összegzésével. Friedrichs és mtsai (2009) a havi meteorológiai adatok alapján képezték még a március-május, április-szeptember és június-augusztusi átlaghőmérséklet és csapadékösszeg adatokat. Novak és mtsai (2010) a havi adatok vizsgálata mellett képezték a február-júniusi, november-júniusi és április-júniusi csapadékösszegeket, valamint az április-augusztus, április-szeptember és április-júniusi átlaghőmérsékleteket.

3.3. ÖSSZEFÜGGÉS VIZSGÁLAT

Számtalan erdészeti jellegű, alapvetően a fák növekedése és a klimatikus jellemzők közötti kapcsolatok vizsgálatával foglalkozó cikk áttekintése alapján megállapítottuk (Manninger et al., 2011a), hogy ezen a területen a jellemzően alkalmazott módszer a szimpla lineáris korreláció- és regresszió-elemzés, illetve az ezen alapuló speciális eljárások (válaszfüggvény-elemzés, bootstrap módszerek a stabilitás javítására).

Ennek megfelelően az általunk alkalmazott módszer az összefüggés vizsgálatokra a szignifikancia vizsgálattal egybekötött lineáris korreláció elemzés volt. Természetesen egyéb, összetettebb elemzési módszerek alkalmazásával tovább bővíthető a vizsgálatok köre. Azonban jelen munka alapvető célja azon speciális módszerek bemutatása, mely az adatsorok egyfajta előkészítését jelentik az elemző folyamat számára. Másrészt mivel azt

tapasztaltuk, hogy az erdészeti jellegű kutatásokban még mindig ez tekinthető egy elterjedt módszernek, ezért egyelőre mi is ezen módszerek alkalmazása mellett döntöttünk.

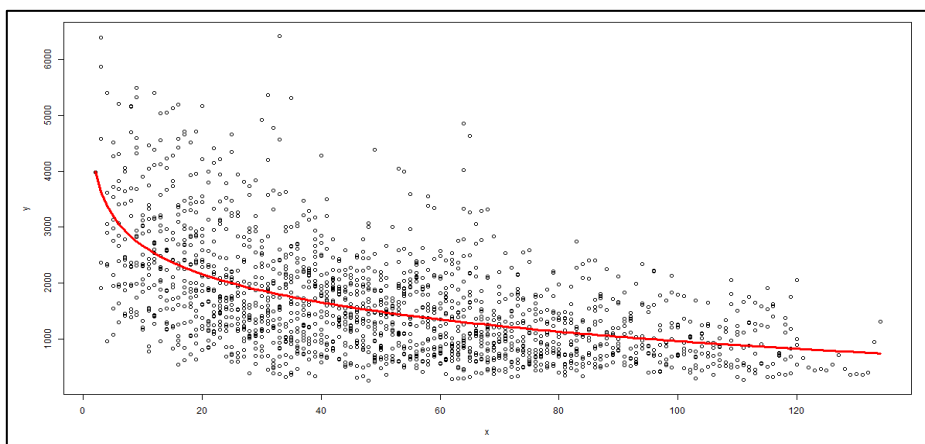
Fontos hangsúlyozni, hogy a növekedési és klimatikus adatok előkészítésében, feldolgozásában alkalmazott és jelen munkában is bemutatott módszerek gyakorlatilag függetlennek tekinthetők a felhasznált elemzési módszerektől. Így utóbbiak köre tetszőlegesen bővíthető a további vizsgálatokban. Erre biztosan szükség is lesz, mert a természetben lejátszódó folyamatok általában nem feltételezik a lineáris kapcsolatot.

4. EREDMÉNYEK ÉS MEGVITATÁSUK

Ahogy a bevezetésben már említettük jelen tanulmánynak nem célja az eredmények erdészeti aspektusból történő értékelése, sokkal inkább az alkalmazott módszerek lehetőségeinek bemutatása ezen a területen. Egyrészt ezért, másrészt helyhiány miatt a teljes eredményhalmazból csak részleteket tudunk bemutatni. Azonban ezek is alkalmasak arra, hogy szemléltessék egy-egy módszer működését és a kapott eredmények formátumát, későbbi felhasználhatóságát.

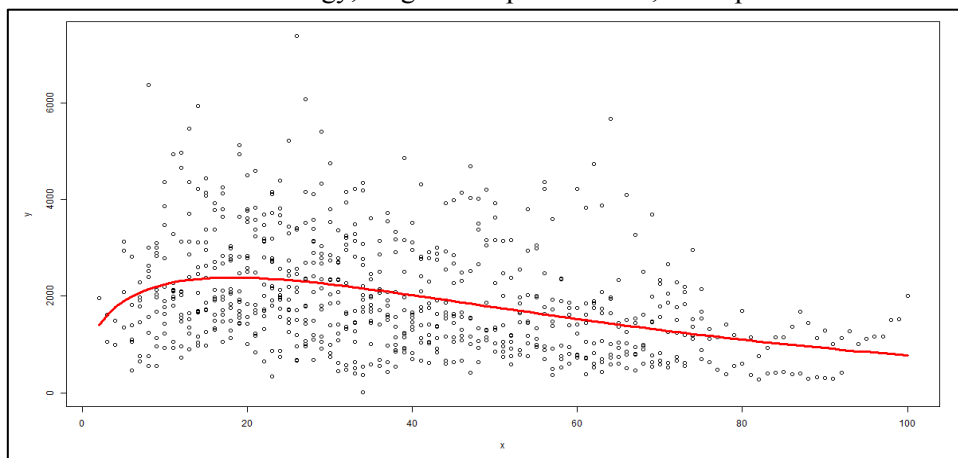
A 103 vizsgált faegyed két fajhoz tartozott 65 (bükk) és 38 (tölgy) egyeddel. A bemutatott vizsgálatokat a két faj csoportra külön-külön végeztük el és mindkét csoport esetében két-két klaszter alakult ki a Hugershoff paraméterek alapján történt klaszterezés alapján.

1. ábra Tölgy, Hugershoff paraméterek, 1. csoport



Forrás: saját szerkesztés

2. ábra Tölgy, Hugershoff paraméterek, 2. csoport



Forrás: saját szerkesztés

A két ábra alapján is érzékelhető, hogy a két csoport – az illesztett görbe karakterisztikáját tekintve - meglehetősen jól elkülönül. A 2. csoport esetében az illesztett mestergörbe (2. ábra) a „várt” formát hozza, azaz a fa az élete elején lassabban növekszik, majd ez intenzíven felfut és élete végén lassul a növekedési ütem. Az első csoport esetében (1. ábra) a kezdeti, felfutó szakasz hiányzik, aminek oka lehet az is, hogy sok egyed esetében nem a kezdetektől állnak rendelkezésre az évgyűrű adatok. A másik vizsgált fafaj vonatkozásában is hasonló eredmények adódtak.

A kapott mestergörbék felhasználásával minden egyes egyedre a csoportjának megfelelően képeztük a 3.1 fejezetben definiált növekedési indexet, amit a klimatikus jellemzőkkel vetettünk össze. Az indexek esetében ez egyszerűen adott év adatainak összevetését jelentette. Figyelembe véve, hogy összességében 31 indexet vizsgáltunk ez így is nagyméretű és mennyiségű eredményhalmazt takar.

Mivel az összefüggés vizsgálatok alapvetően egyed szinten történtek meg, ezért a klimatikus tényezők kimutatása során azokat a paramétereket emeltük ki, melyek az aktuálisan vizsgált klaszterbe tartozó egyedek legalább felénél szignifikáns hatást mutattak (zölddel kiemelve).

1. táblázat A bükk, első csoportra vonatkozó összefüggések (indexek)

egyedek	fai	padi	TYEAR	TMAX	TMIN	TCONT	TVEG	TWIN	TSPR	TSUM	TAUT	TFFREE	TPOS	TNEG	T5	T10	T15	PYEAR	PMAX	PMIN	PVEG	PACC	PWIN	PSPR	PSUM	PAUT	PNEG	PPOS	P5	P10	P15	
egyed1	-0.28	-0.22									0.24			-0.23		0.27		0.25			0.3			0.35	0.27			0.28	0.23	0.38		
egyed2			0.21	0.23		0.28	0.38		0.23	0.44		-0.22	0.29		0.28	0.24	0.23						0.24	-0.21	0.3							
egyed3	-0.21	-0.26																0.35			0.34		0.25	0.23	0.28			0.39	0.31	0.39	0.25	
egyed4	-0.23	-0.21		-0.21														0.26				0.23	0.24					0.21		0.2	0.27	
egyed5			0.28				0.28		0.33	0.2			0.27		0.25		0.44									-0.39					0.35	
egyed6			0.34	0.35			0.46		0.25	0.44	0.23		0.39		0.33	0.29	0.4				0.22			0.3			0.23	0.2	0.21	0.42		
egyed7																					0.2						0.21				0.24	
egyed8	-0.22		0.39	0.26	0.32		0.38	0.23	0.28	0.31		0.22	0.33	0.27	0.31	0.21	0.3				0.2			0.24	0.29	-0.24		0.25	0.21	0.25	0.35	
egyed9	-0.32	-0.22	0.27	0.26			0.42		0.29	0.33	0.29		0.38		0.39	0.28	0.3	0.34	0.2		0.36			0.33	0.44			0.35	0.39	0.42	0.45	
egyed10							0.32		0.25		0.22		0.22		0.21	0.31	0.27															
egyed11		-0.36	-0.53	-0.55	-0.34		-0.49	-0.3	-0.4	-0.6		-0.21	-0.53		-0.46	0.38	0.23			0.39												
egyed12			-0.2		0.24	-0.33					0.2			0.21												-0.23						
egyed13		-0.4	-0.3	-0.28	-0.25		-0.24	-0.24	-0.21	-0.27			-0.28		-0.27		0.24	0.21	0.21				0.22					0.2			0.27	
egyed14	-0.23		-0.3	-0.35	-0.27		-0.23	-0.4		-0.28		-0.33	-0.21	-0.29												0.22						
egyed15	-0.32	-0.24	0.3	0.22			0.29		0.28	0.35	0.21		0.31		0.34		0.3	0.4	0.24	0.26	0.34	0.24	0.23	0.23	0.36			0.34	0.42	0.33	0.49	
egyed16	-0.35	-0.29		0.24		0.21	0.22				0.27		0.22		0.22	0.28		0.36	0.34		0.42			0.36	0.34			0.42	0.41	0.45	0.36	
egyed17	-0.37	-0.3	0.22				0.24				0.23		0.2				0.3							0.44	-0.29					0.23	0.34	
egyed18		-0.28	-0.29	-0.36	-0.31		-0.22	-0.25	-0.22	-0.31			-0.26		-0.23		-0.2				0.27											
egyed19	-0.3	-0.29		-0.33	-0.24			-0.21						-0.23				0.28			0.21	0.21		0.3		0.31		0.26	0.23			
egyed20								-0.22			0.21			-0.21									0.2									
egyed21	-0.21	-0.26	-0.42	-0.41	-0.22		-0.36	-0.24	-0.26	-0.4	-0.24	-0.25	-0.39	-0.32	-0.37				0.22		0.2						0.24			0.24		
	51%	52%	57%	65%	35%	17%	65%	39%	48%	52%	43%	26%	65%	30%	52%	43%	43%	35%	22%	9%	43%	17%	26%	22%	39%	30%	22%	43%	35%	48%	48%	

Forrás: saját szerkesztés

2. táblázat A bükk, második csoportra vonatkozó összefüggések (indexek)

egyedek	fai	padi	TYEAR	TMAX	TMIN	TCONT	TVEG	TWIN	TSPR	TSUM	TAUT	TFFREE	TPOS	TNEG	T5	T10	T15	PYEAR	PMAX	PMIN	PVEG	PACC	PWIN	PSPR	PSUM	PAUT	PNEG	PPOS	P5	P10	P15	
egyed1			-0.45	-0.46			-0.39			-0.32	-0.48		-0.48		-0.48														-0.35			
egyed2			0.45	0.28	0.36		0.42	0.34	0.43	0.43		0.28	0.42	0.22	0.37	0.39	0.32									0.21		0.23		0.22		
egyed3	-0.2	-0.36	-0.37		-0.2		-0.32	-0.24	-0.3	-0.29			-0.35		-0.34	-0.28				0.21											0.26	
egyed4			-0.33	-0.22			-0.25		-0.29	-0.33			-0.34	-0.23	-0.37				-0.31										-0.27			
egyed5	-0.26	-0.27	-0.21	-0.25			-0.26			-0.29					-0.26		-0.25							0.2								
egyed6	-0.27	-0.33									0.23							0.27			0.25		0.26					0.24	0.23	0.21		
egyed7			-0.3	-0.29			-0.37		-0.28	-0.42			-0.31		-0.34	-0.38	-0.2	-0.21	-0.21	0.34						-0.26		-0.23	-0.21	-0.25		
egyed8	-0.26	-0.51	-0.33	-0.33	-0.44			-0.43	-0.26	-0.36	0.29	-0.38	-0.26	-0.3				0.28	0.21			0.42	0.31		0.29		0.23				0.2	
egyed9	-0.32	-0.29			-0.32	0.21		-0.3			0.29	-0.28		-0.2				0.31	0.26			0.29	0.26		0.28		0.24		0.26	0.32		
egyed10	-0.31	-0.43	-0.21	-0.38			-0.32			-0.37			-0.23		-0.23	-0.23							0.23		0.24	-0.27						
egyed11	-0.32	-0.27			-0.23																-0.37	0.23			0.42				0.27	0.32		
egyed12		-0.31	-0.36	-0.51		-0.31	-0.51		-0.29	-0.48			-0.4		-0.42	-0.43	-0.37				0.31											
egyed13			0.28	0.33			0.35			0.32			0.23	0.24	0.21	0.32	0.21															
	54%	62%	77%	69%	38%	15%	69%	31%	54%	77%	23%	23%	69%	38%	69%	46%	38%	31%	31%	31%	15%	15%	23%	8%	38%	23%	15%	23%	31%	38%	31%	

Forrás: saját szerkesztés

A táblázatokban már csak a statisztikailag szignifikáns összefüggések jelennek meg számszerűen. Megállapítható, hogy az erdészetben elterjedt FAI és PADI indexek mindkét csoportban az egyedek kicsit több mint felére kapcsolatot mutatnak. Ugyanakkor a tiszta hőmérséklet alapú indexek közül több esetben a 65%-ot is eléri ez az arány, ami jónak mondható. A másik vizsgált fafaj vonatkozásában is hasonló eredmények adódtak.

A növekedési indexeket a CReMIT módszer felhasználásával a havi meteorológiai adatokból képzett időszaki átlaghőmérséklet és csapadékösszeg adatokkal is összevetettük. A CReMIT eljárással előző év áprilisától adott év októberéig képeztük az összes lehetséges, legfeljebb hat hónapnyi szélességű időablakot. Ez összesen 99 időszaki meteorológiai adat előállítását és vizsgálatba történő bevonását jelenti. A 3. táblázatban a bükk első csoportjába tartozó egyedekre vonatkozó eredményhalmaz egy részlete látható. Az időszak jelölésében a *p* az előző, az *a* az aktuális évre utal, míg a *T* a hőmérséklet paraméterre. Így például a *p_T2 – a_T2* az előző év októberétől adott év februárjáig tartó 5 hónapnyi szélességű időszak átlaghőmérsékletére utal.

3. táblázat A CReMIT módszeren alapuló összefüggés vizsgálat kimenete, hőmérséklet, részlet

Hőmérséklet időszaki adatok, bükk, első csoport						
<i>mettol</i>	<i>meddig</i>	<i>egyed1</i>	<i>egyed2</i>	...	<i>egyed21</i>	<i>arány</i>
<i>p_T4</i>	<i>p_T4</i>	0,32		...		13%
<i>p_T4</i>	<i>p_T5</i>		0,28	...		21%
...						
<i>p_T10</i>	<i>a_T2</i>					6%
...						
<i>a_T5</i>	<i>a_T7</i>	-0,55	-0,6	...	-0,39	46%
<i>a_T5</i>	<i>a_T8</i>	-0,61	-0,76	...	-0,48	57%
...						
<i>a_T6</i>	<i>a_T6</i>	-0,53	-0,61	...		60%
<i>a_T6</i>	<i>a_T7</i>	-0,64	-0,7	...	-0,39	65%
<i>a_T6</i>	<i>a_T8</i>	-0,73	-0,63	...	-0,59	58%
...						
<i>a_T10</i>	<i>a_T10</i>			...		17%

Forrás: saját szerkesztés

A vizsgálatok a képzett növekedési indexek, mint függő paraméterek bevonásával ugyanúgy egyed szinten készültek el, mint az indexek kapcsán. A vizsgálatokban 2 fajtával, és fajonként 2-2 csoporttal dolgoztunk (103 egyed). Továbbá 99 meteorológiai időszakot, mint független paramétert vonatunk be az elemzésbe így a teljes

eredményhalmaz meglehetősen nagy, gyakorlatilag egy 99*103-as mátrix. Emiatt jelen munkában csak egy részalmazát (3. táblázat) jelenítjük meg ennek illusztrálva a kimenet formátumát.

Általában igaz, hogy a hőmérséklet inkább negatív, a csapadék inkább pozitív kapcsolatot mutat a növekedési adatokkal. Különösen adott év késő tavaszának, nyarának időszaki hőmérséklet adataira adódtak erős, negatív előjelű kapcsolatok (lásd 3. táblázat), míg ugyanezen időszak és előző év őszének csapadék adataira jellemzően pozitív előjelű eredmények látszanak.

5. ÖSSZEFOGLALÁS

A nyers évgyűrű adatok önmagukban nem feltétlenül alkalmasak a feldolgozásra. Megfelelő növekedési görbe illesztésével az adatok simíthatóak és kiküszöbölhető az életkor szerepe a növekedésből. A nagyszámú alapegyedek feldolgozása során elkerülhetetlen valamiféle csoportosítási technika alkalmazása, akár a növekedési index képzésében, akár a nem egyedszintű vizsgálatok irányába történő elmozdulásban. A vizsgált adatok kapcsán megmutattuk, hogy hatékony informatika eszközökkel még e meglehetősen összetett, nemlineáris függvények illesztése is könnyen elvégezhető. Az adatbányászatból jól ismert klaszterezési technika alkalmas lehet a növekedési adatsorok csoportosítására. Ezekkel a módszerekkel a növekedési adatok megfelelően előkészíthetők a különböző elemzési folyamatokhoz.

A meteorológiai jellemzők esetében egyrészt alkalmaztuk az erdőszetben régóta ismert klimatikus indexeket. Megmutattuk, hogy a CReMIT módszer alkalmazásával szisztematikus módon bővíthető ki a változók köre. Így előfeltevésektől mentesen, az összes lehetőség vizsgálhatóvá válik az összefüggés keresések során.

A kapott növekedési indexek és a képzett meteorológiai jellemzők összevetése során megállapítottuk, hogy a vizsgált egyedek vonatkozásában a hőmérsékletnek van erősebb és jellemzően negatív hatása. Azaz a hőmérséklet a növekedés egy gátló tényezőjeként fogható fel. Míg a csapadék szerepe kevésbé erős, a megjelenő szignifikáns kapcsolatok előjele általában pozitív, ez inkább egy serkentő tényező.

A kapott eredményeket a klímaszcenáriók Zala megyére vonatkozó előrejelzésével összevetve képet kaphatunk arról, hogy a jövőben a vizsgált fafajok növekedését adott klimatikus feltételek mellett mi jellemzi. Ennek fényében lehet például segíteni azt a döntést, hogy egy erdő felújítása során a jelenlegi, vagy esetleg egyéb, a szárazságot és meleget jobban tűrő fajokat kell-e telepíteni.

6. IRODALOMJEGYZÉK

- Bošea, M. – Kulla, L. – Marušák R. (2011): Detrending ability of several regression equations in tree-ring research: a case study based on tree-ring data of Norway spruce (*Picea abies* [L.]), *JOURNAL OF FOREST SCIENCE*, 57, 2011 (11): 491–499. o.
- Carrer, M. – Urbinati, C. (2001): Assessing climate-growth relationships: a comparative study between linear and non-linear methods. *Dendrochronologia* 19 (1), 57–65. o.
- Csókáné Szabados Ildikó (2002): Az évgyűrűsűrűség és egyes termőhelyi tényezők kapcsolata (*doktori értekezés*), Sopron, 2002, 114 o.

- Dittmar, C. – Zech, W. – Elling, W. (2003): Growth variations of Common beech (*Fagus sylvatica* L.) under different climatic and environmental conditions in Europe – a dendroecological study. *Forest Ecological Management* 173 (2003), 63–78. o.
- Edelényi, M. – Pödör, Z. – Jereb, L. (2011): Speciális elemzési megközelítés a fák növekedése és az időjárási paraméterek közötti kapcsolatok vizsgálatában. *Agrárinformatika / Agricultural Informatics* (2011) Vol. 2, No. 1, 39–48. o.
- Feliksik, E. – Wilczyński S. (2009): The effect of climate on tree-ring chronologies of native and non-native tree species growing under homogenous site conditions. *Geochronometria* 33, 49–57. o.
- Friedrichs, D. A. – Trouet, V. – Büntgen, U. – Frank, D. C. – Esper, J. – Neuwirth, B. – Löffler, J. (2009): Species-specific climate sensitivity of tree growth in Central-West Germany. *Trees* (2009) 23, 729–739. o.
- Führer E. – Horváth L. – Jagodics A. – Machon A. – Szabados I. (2011) Application of a new aridity index in Hungarian forestry practice. *IDŐJÁRÁS* 115(3): 205–216. o.
- Führer, E. – Edelényi, M. – Jagodics, A. – Jereb, L. – Horváth, L. – Moring, A. – Pödör, Z. – Szabados, I., (2012): Az átmérő-növekedés és az időjárás közötti összefüggés egy idős bükkösben. Meteorológiai Társaság XXXIV. Vándorgyűlés és VII. *Erdő és Klíma Konferencia*. Debrecen, Magyarország, 2012.08.29–2012.08.31.
- Han, J. – Camber, M. (2006): Data Mining, Concepts and Techniques - second edition. *Morgan Kaufmann Publishers*, 2006, 772. o.
- Lebourgeois, F. – Bréda, N. – Ulrich, E. – Granier, A. (2005): Climate-tree-growth relationships of European beech (*Fagus sylvatica* L.) in the French Permanent Plot Network (RENECOFOR). *Trees* 19. Springer-Verlag, 385–401. o.
- Manninger M. – Edelényi, M. – Pödör, Z. – Jereb, L. (2011a): Alkalmazott elemzési módszerek a környezeti tényezők fák növekedésére gyakorolt hatásának vizsgálatában. *Erdészettudományi Közlemények*, 1(1), 59–70. o.
- Manninger, M. – Edelényi, M. – Pödör, Z. – Jereb, L. (2011b): The effect of temperature and precipitation on growth of beech (*Fagus sylvatica* L.) in Mátra Mountains, Hungary. *Applied Forestry Research in the 21st Century conference*, Prága-Pruhonice, 2011.09.13–15. o.
- Novák, J. – Slodičák, M. – Kacálek, D. – Dušek, D. (2010): The effect of different stand density on diameter growth response in Scots pine stands in relation to climate situations. *Journal Of Forest Science* 56 (10). *Czech Academy of Agricultural Sciences*, 461–473. o.
- Pálfai I. – Herceg Á. (2011) Droughtness of Hungary and Balkan Peninsula. *Riscuri Si Catastrofe* 10(2): 145–154. o.
- Pichler, P. – Oberhuber, W. (2007): Radial growth response of coniferous forest trees in an inner Alpine environment to heat-wave in 2003. *Forest Ecology and Management* 242, 688–699. o.
- Pieczka, I. – Pongrácz, R. – Bartholy, J. (2011): Comparison of Simulated Trends of Regional Climate Change in the Carpathian Basin for the 21st Century Using Three Different Emission Scenarios. *Acta Silv. Lign. Hung.*, Vol. 7 (2011), 9–22. o.
- Piovesan, G. – Biondi, F. – Bernabei, M. – Filippo, A. – Schirone, B. (2005): Spatial and altitudinal bioclimatic zones of the Italian peninsula identified from a beech (*Fagus sylvatica* L.) tree-ring network. *Acta Oecologica* 27, 197–210. o.
- Pödör, Z. – Edelényi, M. – Jereb, L. (2014): Systematic Analysis of Time Series – CReMIT. *Infocommunication Journal*, VI(1), 16–22. o.
- Thomas Michael Melvin (2004): Historical Growth Rates and Changing Climatic Sensitivity of Boreal Conifers, *PhD Thesis*. Climatic Research Unit School of Environmental Sciences University of East Anglia, 271. o.